

1991年9月1日発行 毎月1回1日発行 第21巻第9号 通巻240号 昭和66年11月2日第三号郵便物認可

日経サイエンス

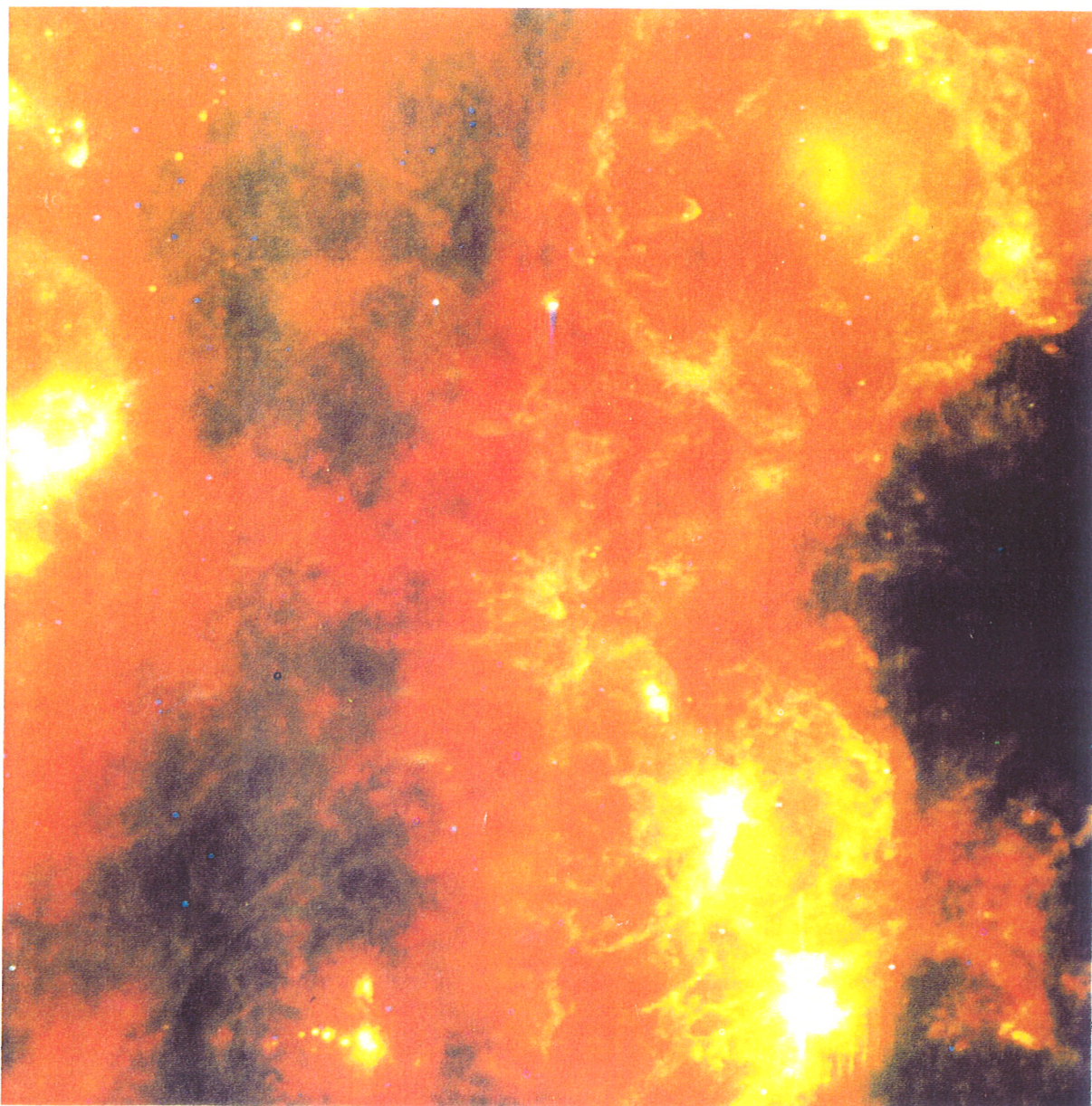
9¹⁹⁹¹

SCIENTIFIC
AMERICAN

日本版

動物園は野生動物の 危機を救えるか

赤ちゃんはいつ言葉を覚えはじめるか
ナノメートルの凹凸を測る光干渉技術



オリオン星雲で誕生の瞬間を迎えた星たち

日経サイエンス社

定価 **1100**円
(本体1068円)

自然言語処理の 突破口をひらく新理論

計算機に数値処理だけでなく、知識処理もやらせようという流れの中で、自然言語処理の研究はきわめて重要なテーマとなっている。人間が物事を理解し、判断する道具は、基本的には言語だからである。これが実現すれば、機械翻訳、自動翻訳電話、知能ロボットなどへの波及効果ははかりしれない。だが、あらゆる分野の科学が結集して人間の知識処理の解明に挑んでいるものの、いまなお確かな手だてがつかめていない。

自然言語処理の現状は「Taro sees Hanako with a telescope.」の翻訳例に端的に現れている。この文の訳は「太郎は望遠鏡で花子を見ている」と「太郎は望遠鏡を持つ花子を見ている」の2通りある。人間は文脈に応じて適訳を判断できるが、現在の機械翻訳システムではそれができない。カーネギー・メロン大学機械翻訳センター、ATR自動翻訳電話研究所の苫米地英人（とまべち・ひでと）研究員は、この「言葉の壁」を打ち破る新しい理論を発表し、内外の研究者から注目されている。

7月の下旬、ATR自動翻訳電話研究所が主催する次世代言語処理国際ワークショップが京都で開かれた。自然言語処理の大御所、カーネギー・メロン大学機械翻訳センター所長のカーボネル（Jaime Carbonell）教授やカリフォルニア大学人工知能研究所所長のダイヤー（Michael G. Dyer）教授が参加するなど、会場は熱気に包まれた。

このような会議が開かれる背景には、知識を「超並列処理」しようとする新しい動きがある。この動きに直接火をつけたのが、米シンキング・マシン社による超並列マシン「コネクション・マシン」の登場で、従来の逐次処理マシンの枠組みでは発想しえなかった、超並列的な自然言語処理を実現する舞台を提供した。このマシンにはプロセッサ（演算装置）が約6万個もあり、各プロセッサには微小メモリーが備わっている。

これまでの自然言語処理には大きく2つの研究の流れがあった。1つは機械が自力で知識を獲得できるとする集団。もう1つは人間が先生となって生徒の機械を教える必要があるとする集団である。前者はニューラル・ネット（神経回路網）のような脳の入れ物だけを用意すれば、あとは学習で自然と知識が身につくと考え、後者は入れ物だけではダメで、人間が知識をあらかじめ記述しておかなければならないと考える。だが、両者はともに行き詰まりの状態に陥っている。

ニューラル・ネットの限界

人間が自分で知識を吸収するように、ニューラル・ネットを使って機械に自力で知識を獲得させようという試みが、1980年代の後半から活発化した。だが、自然言語処理に必要な知識がなかなか吸収されず、現実からかなりほど遠い状態である。このようなアプローチは、ちょうどテレビが私たちの話を学び、

ついには自分の番組を勝手に放送し始めることに等しいと悪口をいう研究者もいる。

これは現在のニューラル・ネットが基調とする「バックプロパゲーション・モデル」に問題があるからだと考えられている。このモデルではニューロン（ソフトウェア上の神経細胞）のネットワークを入力層、中間層、出力層の3つに分け、人間が入力層と出力層に事柄を表す記号を与えたときに、中間層が両者の関係づけをするようになっている。

ただし、中間層は記号を用いて論理的に両者を関係づけるのではなく、あくまでも統計的に両者のマッチングをとっているに過ぎない。そこで、「人間の脳の処理はこのような非記号的な処理だけではなく、知識を論理的に扱う記号的な処理が重要な働きをしている」と言語学者などからは、否定的な見解が示されている。つまり、学習を重ねても、ニューラル・ネットには論理的にあたりまえな常識が備わらないため、前後関係からその場にふさわしい言葉を選択することができないというのである。

解決の糸口が見えない知識記述方式

こうした状況があるため、自然言語処理の研究では、人間が知識を論理的に記述する方法が主流となっている。ところが、この方法は計算機が生まれてまもなく始まり、もう40年近くになるが、一向にモノにならない。

その限界は「Taro sees Hanako with a telescope.」の翻訳例に現れている。この文は「太郎は望遠鏡で花子を見ている」とも「太郎は望遠鏡を持つ花子を見ている」とも訳すことができ、2つの訳では意味がまったく異なる

る。私たちもこの1文だけを見るなら、どちらの訳が正しいかを特定することができない。

だが、それまでの一連の文章の中に「花子は望遠鏡を持っている」の類の1文でもあれば、私たちは後者の訳を迷わず選ぶだろう。ところが、同じことを現在の機械翻訳システムにやらせてみても、2つの訳を並べ立てることしかできない。前者のように訳す頻度が統計的に高ければ、意味を考えずに前者を選ぶだけである。

この限界を生み出す原因について、苫米地研究員は、使用場面によって言葉の意味がさまざまに変わることを無視して、「あらゆる言語の使用場面に対処できる知識体系がある」と考えているところに問題があると分析する。この考え方に立つ限り、機械がどんなに仕事を積もうと機械の知識データは何も変化せず、人間があらかじめ記述したままの状態に固定されてしまうことになる。

これまで自然言語処理とは、知識をif-then型の手続きでプログラム化し、その手続きを1つ1つ順番に処理することだった。1985年～87年のエール大学の人工知能プロジェクトでは、知識を言葉の意味のつながりで記述し、それを超並列処理（ソフトウェア上で）する試みが行われたが、知識データが固定されてしまう点では、従来の方法と変わりなかった。

さきほどの文例にでてくる「花子」と「望遠鏡」は、一般的な言葉のレベルではとくに意味的な関係は何もない。2つの言葉の意味的な関係は、文章の物語の中で初めて成立する。したがって、一般的な言葉の関係の知識しかもたない機械には、2つの言葉の関係が把握できず、結局は、構文解析機とし

苫米地英人（とまべち・ひでと）

カーネギー・メロン大学機械翻訳センター研究員
ATR 自動翻訳電話研究所滞在研究員

1979年、上智大学外国語学部英語学科（言語学専攻）に入学したが、マサチューセッツ大学留学時にゲーム作りに没頭し、ゲームと人工知能に深いかわりがあることを知った。機械語の腕はハッカー仲間の中で磨かれた。大学を卒業後、2年間三菱地所の会計・財務に勤めたが休職し、フルブライト奨学生としてエール大学の人工知能プロジェクト（85～87年）に参加した。ここで、シャンク（R.Schank）の「自然言語処理は人間の記憶モデルがないとできない」には共感したが、「意味論だけ



で実現できる」には限界を感じた。87年にカーネギー・メロン大学に移籍してからは、ポラード（C.Pollard）の「自然言語処理には意味論と統語論の両方が必要だ」には賛同したが、「個人の記憶とは無関係に知識は記述できる」には疑問を感じた。31歳。

て、可能性のある訳を羅列することだけしかできないわけである。

物語を把握する新理論

苫米地研究員はこうした限界を打開するために、従来のように知識を固定するのではなく、機械が経験をすれば、経験で得た知識を機械自らがどんどん吸収できる仕組みをつくろうと考えた。物語の中で生まれる特殊な知識は、機械自身に学んでもらおうという狙いである。

苫米地理論でもまた、常識となる知識はあらかじめ記述しておかなければならない。知識の表現方法としては、2種類のネットワークを用いる（30ページの図）。

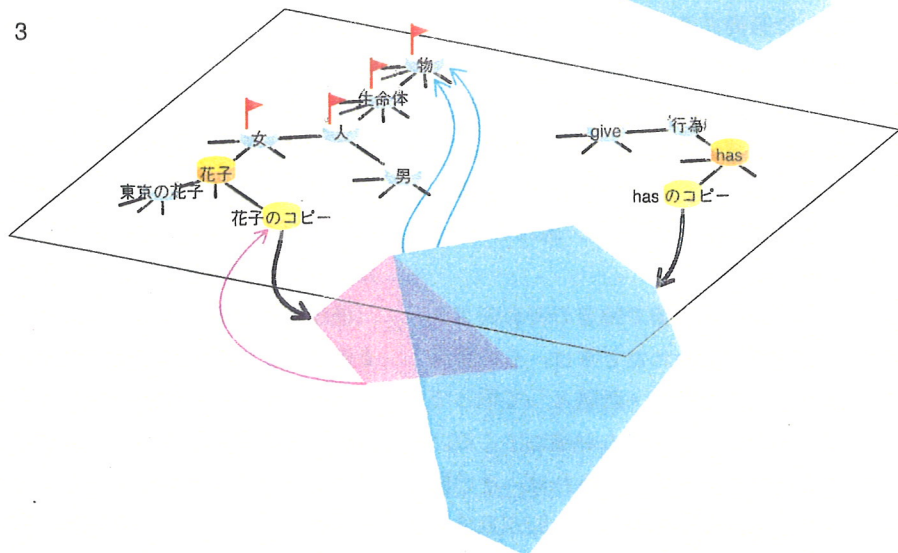
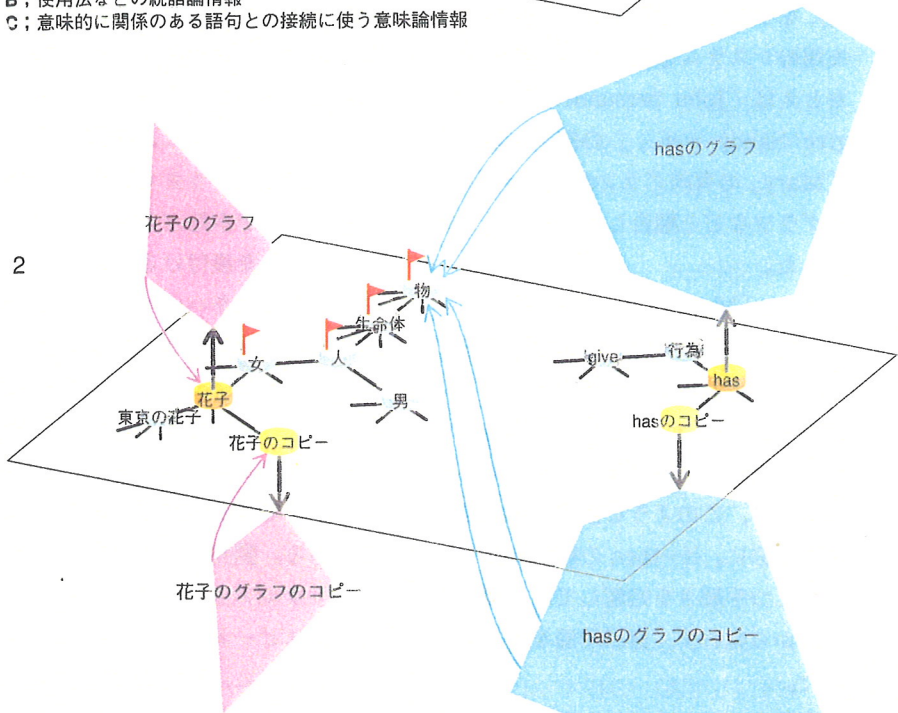
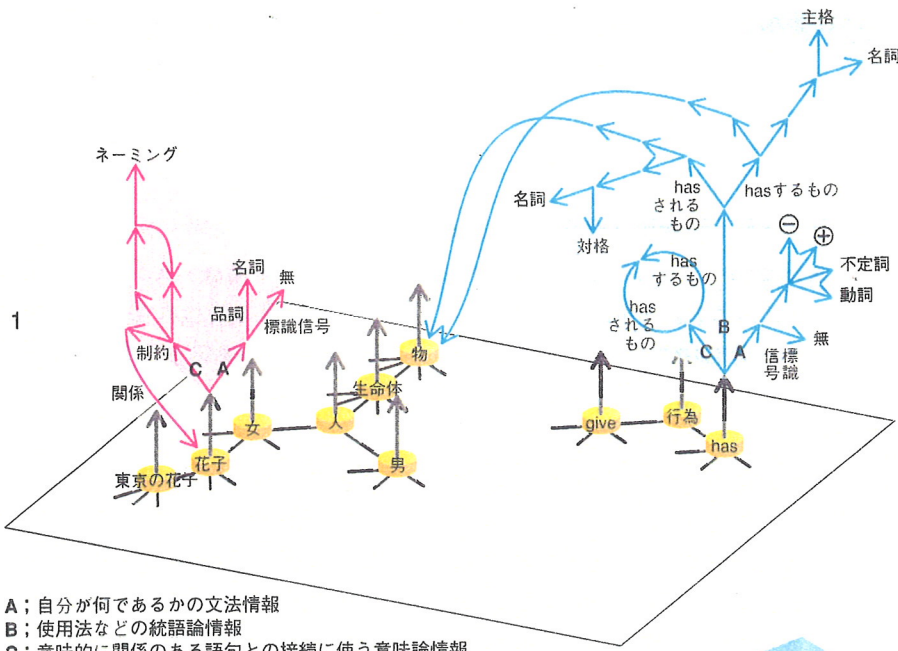
1つは「意味ネットワーク」で、「鳥」「ツバメ」「飛ぶ」といった語句などを節点とし、意味的に関係のある節点同士をつないだ網を平面上につくる。こ

うすると、1つの節点が刺激を受ければ、それに関連する事柄を連想的に探索できる。

もう1つは「有向グラフ」で、意味ネットワーク平面の各節点から高さ方向に延びる。例えば「read」の有向グラフには、「readの主語は物にはならない」といった言葉の使われ方や文法の知識が記述されている。

この理論の最大の特徴は、物語（文章）が進行するとともに、物語の中でのみ通じる事柄の関係を、この有向グラフの中に取り込むことである。物語に出てきた言葉の有向グラフ同士を融合させることで、物語の中で生まれた特殊な言葉のつながりを把握させようというのである。意味ネットワークについては、変形させると常識的な意味が崩れる可能性があるため、何も変化させないでおく。

ここで「Hanako has a telescope.」



の例を使って実際の処理を追ってみよう。まず、文頭の「Hanako」が入力されると、その節点から「Hanako」の標識信号が複数個発信される。信号は意味ネットワーク平面を伝い、「女性」「人間」「物体」といった「Hanako」の上位概念（さらに広い意味をもつ語句）の節点すべてに到達する。「has」についても同様である（「has」の上位概念には「行為」などがある）。

次に、「has」が入力されると、「has」の有向グラフが活性化し、その一部の「hasの主格」「hasの目的格」を書いた有向グラフが動作を開始する。「hasの主格」の有向グラフは、一般的な知識として「物体」の節点を指しており、この節点で「Hanako」の標識信号を見つける。

この時点で、単一化と呼ばれる有向グラフの融合を図る。「has」と「Hanako」の有向グラフを比較し、グラフ理論的に足し合わすことができれば、足し合わせた新有向グラフを構築する。その後、元の古い有向グラフを消去

物語中の新知識を吸収する手順 吉米地理理論では、知識の意味的なつながりは、意味ネットワークの平面に記述される。語句の節点は、上に進むほど意味が広がっている（上位概念：図1）。語句の文法や使用法などの知識は、節点から高さ方向に延びる有向グラフに書くことができる。図2は英文を入力した直後の状態である。まずシステムは「花子」を活性化し、その上位概念すべてに標識信号を送り込む。さらに節点とグラフのコピーをとって、「花子」の分身を作る。「has」も同様である。「has」の有向グラフには、一般知識として「hasの主格」が「物」になることを示す矢印がついていて、この矢印が「花子」の標識信号を見つける。次に「花子」と「has」の分身の有向グラフを足し合わせ、新有向グラフを作る。こうして、「花子」と「has」は関連をもつことになり、最終的に「花子」が「望遠鏡」を「もつ」人物であるという状況を知識として蓄えていく。

し、新有向グラフを2つの節点にくっつける。新有向グラフには、物語の中で新たに生まれた「has」と「Hanako」の関係が含まれる仕組みである。逆に、足し合わすことができなければ、「has」と「Hanako」には結び付きはないとして、何の変化もしない。

こうした作業は1文だけでなく、物語が続く間続ける。物語中に「花子は望遠鏡を持っている」という文があれば、「花子」と「望遠鏡」は「has」を介して有向グラフ中でつながる。したがって、「Taro sees Hanako with a telescope.」は「太郎は望遠鏡で花子を見ている」ではなく、「太郎は望遠鏡を持つ花子を見ている」と特定できるわけである。現在の機械翻訳システムでは、このつながりが新たな知識とならないために、訳（意味）を特定することができない。

それでは、従来の機械翻訳システムではこの文例の翻訳は不可能かといえば、そんなことはない。ただ、実現するにはこういう状況が起こり得ることを事前に想定し、始めから人間が規則や知識を力づくで記述しておかなければならない。しかし、「with a telescope」1つをとってもあらゆる場面に対処することが難しいのに、これをすべての言葉に対して網羅することは、無限の規則や知識を記述することになり、ほとんど不可能に近い。

この理論を応用するとさらに、複数の意味やニュアンスをもつ言葉を扱う場合、ふさわしい訳語を選ぶのに効果を発揮するという。「Taro gave Hanako a candy.」を例にとると、「gave」の訳は「与えた」「あげた」「くれた」などが考えられる。ここで物語の中に「花子は私の娘である」などがでてくれば、有向グラフの中に「花子」と「私

の娘」の間につながりが生まれるため、「太郎さんは(うちの)花子にキャンディーをくれた」と訳することができるという。従来の機械翻訳システムでは「花子」を一般的な固有名詞としか扱えないため、最も使用頻度の高い「与えた」を特定するか、3つの訳語を併記するだけである。

苫米地研究員はこの理論を検証するために、16台のCPU(中央演算処理装置)をつないだ並列マシンを使い、デモ用のシステムを開発した。実験では、たとえば「John persuaded Mary to give Sandy susi.」の例文を用い、「Mary」の有向グラフが「give」の有向グラフなどと融合していることを確認した。

また、「Mary」が「persuaded」の目的語で、しかも「give」の主語であることを、超並列処理で認識することに初めて成功した。これまでに超並列を目指したシステムにはエール大のものがあるが、このような複文の構造を認識するのに、if—thenの規則を使って1つ1つ手続きを処理していく従来の方式から免れず、自己矛盾をかかえていた。

実際のシステムでは、あらかじめ記述した有向グラフのデータは保存しておき、このコピーを使って新有向グラフを作成する。新有向グラフは物語が終われば消去する。つまり、普遍的な知識は残しておき、物語の中で生まれた特殊な知識は意識的に“忘れさせる”わけである。

ただ、ある物語で特定の新有向グラフが頻繁に使われたときは、その新有向グラフを流行語・新語として扱ってはどうかと、システムが尋ねてくる。これに対応する語句があれば、その語句を普遍的な知識として人間が意味ネ

ットワークに記述することができる。たとえば、「天皇」と「死ぬ」の有向グラフが頻繁に使われたとき、「崩御する」を新たに意味ネットワークに追加することができる。

ハードウェア先行の研究を否定

苫米地研究員は、ハードウェアが先行する現在の自然言語処理の研究のやり方に否定的である。ハードウェアに縛られると、もともとあった自分の信念をどこかで曲げなくてはならないし、況が生まれるからだという。ハードウェアにとらわれずに、純粋にどうやったら自然言語がうまく処理できるかを追求するのが本筋だと話す。

このことを裏付けるかのように、提唱した新理論をハードウェア的に高速処理できる超並列マシンはない。新理論では、有向グラフごと大量の情報を伝達しなければならぬため、現在ある超並列マシンでは各プロセッサ間でやりとりできる情報量が少なすぎるからである。開発したデモ用システムはソフトウェア上で超並列処理しているため、スピードが著しく遅い。

これまでに、専門辞書を用意したシステム、学習機能があるシステム、推論機構をもつシステムなどの方法が検討されているが、どれも自然言語処理の決め手とはなっていない。構文や意味の明確な科学技術関連のマニュアル書向けに一部実用化されている機械翻訳システムできえ、機械にかける前後に大変な人手を要するのが実情である(機械が訳せるように人間が原文を書き直すなど)。苫米地理論が完璧かどうかは未知数だが、閉塞状態にある自然言語処理の研究に何らかの突破口を開くのではないかと期待を膨らませてくれる。(編集部・稲田)